

Учет влияния шероховатости на измеряемые значения твердости в рамках метода инструментального индентирования

И.И. Маслеников¹, В.Н. Решетов¹, А.С. Усеинов¹, А.Б. Шубин²

¹ ФГБНУ ТИСНУМ, 108840, Троицк, Москва, Россия

² ООО «Остек-АртТул», Москва, Россия
useinov@mail.ru

Предложена модель учета влияния локальной шероховатости исследуемой поверхности на измеряемое значение твердости в методе инструментального индентирования. Показано, что за счет введения поправки для величины контактной глубины индентирования удастся существенно повысить точность измерения твердости на сильно шероховатых поверхностях. Представлена экспериментальная проверка предложенного способа коррекции на модельных образцах.

Reducing the influence of surface roughness on hardness measurement using instrumented indentation test

I.I. Maslenikov¹, V.N. Reshetov¹, A.S. Useinov¹, A.B. Shubin²

¹ FSBI TISNCM, 108840, Troitsk, Moscow, Russia

² Ostec-ArtTool Ltd., Moscow, Russia

A model is proposed for taking into account the influence of the local roughness of the surface under investigation on the measured hardness value in the instrumental indentation method. It is shown that, due to the introduction of the correction for the value of the contact depth of indentation, it is possible to substantially increase the accuracy of hardness measurements on highly rough surfaces. An experimental verification of the proposed method of correction on model samples is presented.

В настоящее время широко распространенным методом исследования механических свойств поверхности в нанометровом и микронном диапазоне является метод инструментального индентирования [1]. Одним из основных предположений используемой в данном методе модели является предположение о идеальной гладкости поверхности. В условиях реального эксперимента поверхность можно считать достаточно гладкой, если глубина индентирования в 20 раз превышает параметр шероховатости R_a [2].

При значительном уровне шероховатости увеличивается не только разброс данных, но и происходит смещение оценки истинного значения твердости измеряемой поверхности: среднее значение измеренной твердости не соответствует данной величине. Известен подход [3], при котором для достаточно плоского индентора учет высоко частотной шероховатости производится в рамках замены величины контактной глубины индентирования $h_c \rightarrow h_c - 2.46 \cdot R_a$. Данное предположение основано на том, что при Гауссовом распределении высот в 95% случаях элементы поверхности находятся в диапазоне от $-2.46 \cdot R_a$ до $2.46 \cdot R_a$: в таком случае контакт наступает выше средней линии поверхности, к которой в дальнейшем происходит «сминание» вершин.

Вместе с тем, очевидно, что данная модель не является полной. В случае «низкочастотной» шероховатости, т.е. для поверхностей, у которых отношение радиуса автокорреляционной функции $\sigma_{xy} = \sigma_x = \sigma_y$ к среднеквадратическому значению разброса высот σ_z превышает $\text{ctg}(\alpha)$, где α – угол между высотой и гранью индентора, индентор уже является «острым», а в предельном случае является практически пиком, по сравнению с шероховатостью поверхности. В таком случае, корректировку h_c имеет смысл производить на некоторую величину z_c лежащую в диапазоне от 0 до $3\sigma_z$.

Целью данной работы являлось определение функции $z_c/\sigma_z = f(\sigma_{xy}/\sigma_z)$. Для получения данной зависимости было построено несколько серий массивов с гауссовым распределением точек по высоте (стандартное отклонение σ_z) и с автокорреляционной функцией, имеющей двумерный гауссов вид (стандартное отклонение σ_{xy}). Вид данной зависимости представлен на рисунке 1.

Экспериментальные значения σ для субмикрометрового диапазона линейных размеров могут быть получены методами сканирующей зондовой микроскопии.

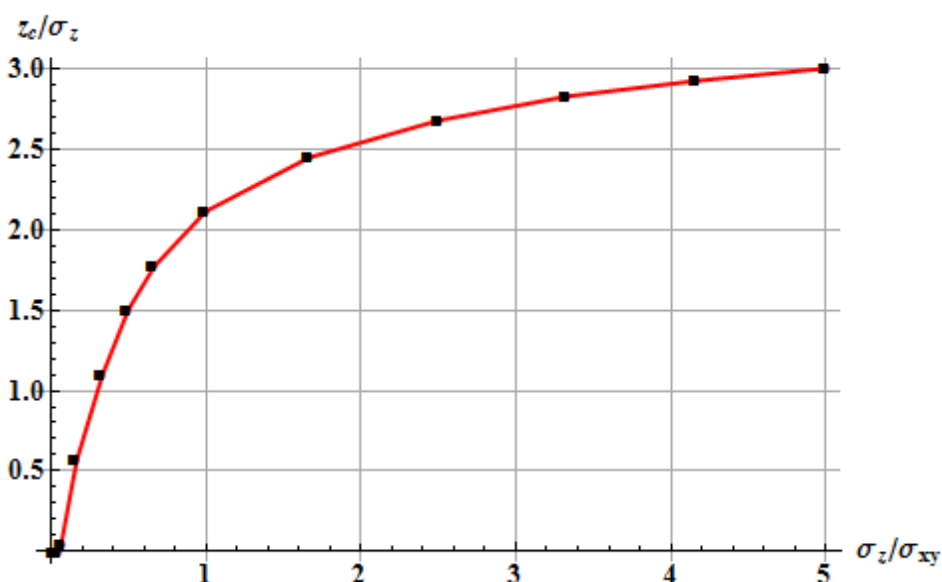


Рисунок 1. Среднее значение высоты касания поверхности в зависимости от параметра, определяющего «частоту» шероховатости поверхности.

Данное соотношение было применено для корректировки среднего значения твердости, измеренной по методу инструментального индентирования для различных величин максимальной нагрузки на образцах с различным уровнем шероховатости.

1. W.C. Oliver, G.M. Pharr, Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology, *J. Mater. Res.* **19**(1), 3-20 (2004).
2. ISO/FDIS 14577-1:2015; Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and materials parameters.
3. J.-Y. Kim, J.-J. Lee, Y.-H. Lee, J. Jang, D. Kwon, Surface roughness effect in instrumented indentation: A simple contact depth model and its verification, *J. Mater. Res.* **21**(12), 2975-2978 (2006).